

Capacitive measuring device

Publication number: DE4442711

Publication date: 1996-06-05

Inventor: HORN KLAUS PROF DR ING (DE)

Applicant: CLAAS OHG (DE)

Classification:

- international: G01F23/26; G01N27/22; G01F23/22; G01N27/22;
(IPC1-7): G01R27/26; G01F1/56; G01F1/86; G01F23/26;
G01N27/22

- european: G01F23/26B4; G01F23/26B6; G01N27/22D

Application number: DE19944442711 19941201

Priority number(s): DE19944442711 19941201

Also published as:

US5708369 (A1)

GB2295897 (A)

FR2727759 (A1)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4442711

A capacitive measuring device a measuring capacitor with a measuring electrode 3 arranged from a counter-electrode 8, and there being dielectric material for analysis arranged between the electrodes or continuously being conveyed between them, a time varying measuring current IC being supplied to the measuring electrode and the capacitor voltage UC being measured and evaluated, there being arranged to the side of a measurement zone provided between the electrodes which may be a flow channel or duct 1 for the material to be analysed, at least one side wall delimiting the measurement zone, and the measuring electrode being surrounded by a plurality of guard ring and/or auxiliary electrodes 61-6N spaced apart therefrom in a staggered arrangement and at least partly covering the side walls and each of which is constantly being corrected via a potential-controlling circuit 17 to the potential of the measuring electrode so as to thereby largely compensate for leakage currents to the said electrodes, the side wall in the region of the measurement zone being virtually completely covered with auxiliary electrodes, arranged in a ribbon shape parallel to the measuring electrode or in a two-dimensional grid, and each of the auxiliary electrodes being wired to its potential-controlling circuit in a manner that minimises any flow of current into the auxiliary electrodes.

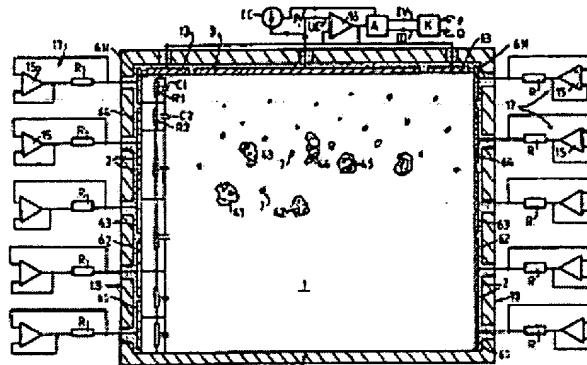


Fig. 1

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



Offenlegungsschrift

⑯ DE 44 42 711 A 1

⑯ Int. Cl. 6:
G 01 R 27/26
G 01 N 27/22
G 01 F 1/56
G 01 F 1/86
G 01 F 23/26

⑯ Aktenzeichen: P 44 42 711.5
⑯ Anmeldetag: 1. 12. 94
⑯ Offenlegungstag: 5. 6. 96

⑯ Anmelder:

Claas KGaA, 33428 Harsewinkel, DE

⑯ Erfinder:

Horn, Klaus, Prof. Dr.-Ing., 38126 Braunschweig, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

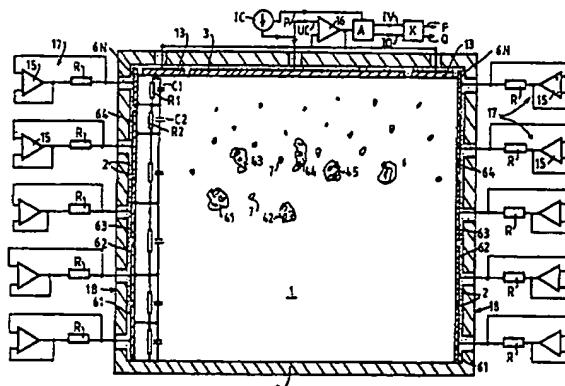
DE 41 05 857 C2
DE 40 25 400 C1
DE 30 50 619 C2
DE-PS 9 09 505
DE-AS 21 51 078
DE 43 18 477 A1
DE 42 27 922 A1
DE 40 25 575 A1
DE 40 22 563 A1
DE 33 02 736 A1
DE 31 33 239 A1
DE 31 14 678 A1
DE 28 06 153 A1

DE 92 04 374 U1
US 51 34 379
US 48 99 101
US 48 53 614
WO 84 03 355 A1
WO 85 02 016

STOTT, A.L.,et.al.: Comparison of the use of internal and external electrodes for the measurement of the capacitance and conductance of fluids in pipes. In: J.Phys.E: Sci Instrum., Vol. 18, 1985, H.7, S.587-592;
SAM, M.,et.al.: The Use of Capacitance Sensors for Phase Percentage Determination in Multiphase Pipelines. In: IEEE Transactions on Instrumentations and Measurement, Vol. IM-29, No.1, March 1980;

⑯ Kapazitive Meßvorrichtung

⑯ Die Erfindung betrifft eine kapazitive Meßvorrichtung, mit einem Meßkondensator mit einer Meßelektrode (3), die zu einer Gegenelektrode (8) beabstandet angeordnet ist, und wobei zwischen den genannten Elektroden (3, 8) zum Messen dielektrisches Meßgut angeordnet oder laufend hindurchgefördert wird, und der Meßelektrode (3) ein zeitlich veränderlicher Meßstrom (IC) zugeführt wird und die kapazitätsabhängige Kondensatorspannung (UC) gemessen und ausgewertet wird, wobei seitlich eines zwischen den genannten Elektroden (3, 8) gegebenen Meßraumes, der ggf. ein Meßgutströmungskanal (1) ist, mindestens eine Seitenwandung (18) den Meßraum begrenzend angeordnet ist und die Meßelektrode (3) von mehreren von ihr gestaffelt-beabstandeten und zumindest teilweise die Seitenwandung (18) bedeckenden Schutzring- und/oder Hilfselektroden (13, 6N, 6NA) umgeben ist, die jeweils über eine Potentialregelschaltung (17) laufend so dem Potential der Meßelektrode (3) nachgeführt sind, daß dabei Leckströme zu diesen Elektroden (13, 6N, 6NA) weitgehend ausgeglichen sind, wobei die Seitenwand (18) im Bereich des Meßraumes mit weiteren Hilfselektroden (61-6N; 61A-6NA) annähernd vollständig, streifenförmig parallel zur Meßelektrode (3) geteilt oder zweidimensional rasterförmig geteilt, belegt ist und jede der Hilfselektroden mit ihrer Potentialregelschaltung (17) so beschaltet ist, daß ein Stromfluß in die Hilfselektroden (61-6N; 61A-6NA) minimiert wird.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine kapazitive Meßvorrichtung mit einem Meßkondensator mit einer Meßelektrode, die zu einer Gegenelektrode beabstandet angeordnet ist, und wobei zwischen den genannten Elektroden zum Messen dielektrisches Meßgut angeordnet oder laufend hindurchgefördert wird, und der Meßelektrode ein zeitlich veränderlicher Meßstrom zugeführt wird und die kapazitätsabhängige Kondensatorspannung gemessen und ausgewertet wird, wobei seitlich eines zwischen den genannten Elektroden gegebenen Meßraumes, der ggf. ein Meßgutströmungskanal ist, mindestens eine Seitenwandung den Meßraum begrenzend angeordnet ist und die Meßelektrode von mehreren von ihr gestaffelt beabstandeten und zumindest teilweise die Seitenwandung bedeckenden Schutzring- und/oder Hilfselektroden umgeben ist, die jeweils über eine Potentialregelschaltung laufend so dem Potential der Meßelektrode nachgeführt sind, daß dabei Leckströme zu diesen Elektroden weitgehend ausgeglichen sind.

Die Verwendung des kapazitiven Meßprinzips, insbesondere zur berührungslosen Bestimmung von Dicken, Schichtdicken, Abständen, Füllständen, hat in der meßtechnischen Praxis eine hohe Bedeutung und große Verbreitung gefunden.

Sein großer Vorteil besteht vor allem darin, daß den Sensoren keine grundsätzlichen Einschränkungen in bezug auf ihre Umgebungstemperaturen gemacht werden müssen, so lange man für den Sensoraufbau nur geeignete temperaturfeste Materialien verwendet. Vorteilhaft für die Nutzung des kapazitiven Prinzips ist es, wenn sich der Aufbau des elektrischen Feldes im eigentlichen Meßvolumen des Sensors physikalisch eindeutig beschreiben läßt, d. h., daß ein in Form von Kennlinien beschreibbarer Zusammenhang zwischen der Sensorkapazität und den geometrischen Abmessungen des Meßvolumens sowie der dielektrischen Eigenschaften der Materialien besteht, die sich im Meßvolumen befinden.

Die Grundform aller solcher kapazitiver Sensoren läßt sich im allgemeinen auf einen Plattenkondensator zurückführen. Ist ein homogenes Dielektrikum — z. B. Luft — zwischen der Meßelektrode und der Gegenelektrode vorhanden, ergibt sich bei Vernachlässigung der Streufeldkapazität, also für einen idealisierten Plattenkondensator, der einfache Zusammenhang, daß seine Kapazität dem Produkt aus der absoluten und der relativen Dielektrizitätskonstanten und der Elektrodenfläche dividiert durch den Elektrodenabstand entspricht.

Randseitig der Elektroden ist der Feldverlauf tatsächlich jedoch inhomogen, was eine Streukapazität zur Folge hat, die sich sogar bei einem Rechteckplattenkondensator in sehr nichtlinearem und schwierig zu berechnendem Zusammenhang additiv der Meßkapazität des homogenen Feldbereiches überlagert. Dieses Streufeld ist in sehr starkem Maße in seiner Form auch davon abhängig, ob in der Umgebung des Meßkondensators noch weitere elektrisch leitende Objekte vorhanden sind, die je nach ihrer Position und geometrischen Gestalt einen unüberschaubaren, komplizierten Zusatzeinfluß auf die Streukapazität besitzen. Um den aus meßtechnischer Sicht sehr unerwünschten Einfluß dieser Streukapazitäten auf die Meßergebnisse zu eliminieren, ist es bekannt und üblich, die Sensoren mit zusätzlichen Schutzringelektroden auszustatten, die von einem Impedanzwandler mit ihrer Spannung bis auf einen vernachlässigbaren kleinen Betrag genau der an der Meßelektrode, d. h. einer der Feldelektroden anliegenden Meßspannung

nachgeführt wird. Die Schutzringelektrode umschließt die Meßelektrode gewöhnlich längs ihres äußeren Randes und auf ihrer Rückseite vollständig. Ihre Spannung gegen das Potential der Gegenelektrode wird von einem als Spannungsfolger geschalteten Verstärker, der eine sehr hohe Leerlaufverstärkung besitzt, praktisch auf dem Potential der Meßelektrode gehalten. Schaltungsbedingt ist die für die weitere Signalverarbeitung zur Verfügung stehende Meßspannung exakt gleich der Spannung der Schutzringelektrode, und die Fehlerspannung hin zur Meßelektrode ist extrem klein im Vergleich zur am Meßkondensator abfallenden Spannung.

Zwischen der Meßelektrode und der Schutzringelektrode bildet sich daher keinerlei elektrisches Feld aus. Lediglich zwischen der Schutzringelektrode und der Gegenelektrode bildet sich noch ein Streufeld aus, dessen Größe und Verlauf jetzt aber keinen Einfluß mehr auf die Größe der sich unter der Wirkung eines Ladestromes ausbildenden Meßspannung an der Meßelektrode hat. Diese Meßspannung ist daher ausschließlich nur noch eine Funktion eines in die Meßkapazität hineinfließenden Ladestromes und errechnet sich bekanntlich aus dem Zeitintegral des Ladestromes dividiert durch die Meßkapazität.

Das zuvor beschriebene Schutzringprinzip bereitet beträchtliche Probleme, wenn sich das Meßvolumen aufgrund der Aufgabenstellungen in der Praxis über einen vergleichsweise großen Meßquerschnitt erstreckt. Derartige Fälle treten beispielsweise dann auf, wenn ein Massestrom (Masse/Zeiteinheit) eines Meßgutes zu bestimmen ist, das aus mehr oder weniger kleinen Einzelpartikeln zusammengesetzt ist (z. B. Getreide, gehäckseltes Grünfutter, Stäube) und pneumatisch oder durch Schwerkraft oder Massegräte getrieben längs eines Transportkanals gefördert wird. Dieser Förderkanal befindet sich normalerweise auf Nassepotential und ist aus metallischem Material gefertigt, so daß die Begrenzungen des Förderquerschnittes an jedem Ort des Transportweges Äquipotentialflächen darstellen. Setzt man die bekannte Schutzringanordnung mehr oder weniger unverändert in einen solchen Transportschacht ein, der die äußere Begrenzung des Transportquerschnittes bildet und wegen seiner Erdung auch gleichzeitig die Gegenelektrode darstellt, so liegt ein weitgehend inhomogenes elektrisches Feld für die Ausbildung der Meßkapazität vor, für die keineswegs mehr die einfache Beziehung des idealisierten Plattenkondensators Gültigkeit besitzt. Insbesondere ist der Kapazitätsänderungsbeitrag, den ein Partikel des Förderstroms zur Meßkapazität beiträgt, aufgrund dieser Inhomogenität des Meßfeldes in starkem Maße davon abhängig, an welcher Stelle des Förderquerschnittes es im Meßvolumen hindurchgeführt wird. In der Nähe der Meßelektrode wird es sich wegen der starken Feldkonzentration als ein großer Kapazitätsänderungseinfluß bemerkbar machen. Dagegen liefert es bei großen Abständen von der Meßelektrode wegen der geringen Felddichte nur einen sehr geringen Beitrag. Da bei einer hochwertigen Massestrombestimmung aber jedes durch den Meßquerschnitt hindurchtretende Massepartikel unabhängig vom Durchtrittsort den gleichen Meßbeitrag liefern sollte, um eine einwandfreie Mittelwertbildung über alle Kapazitätsänderungsbeiträge zu ermöglichen, werden die bekannten Anordnungen nur in recht ungenauem Maße den zu stellenden Anforderungen gerecht. Die bekannte Anordnung ist trotz der Inhomogenität des Meßfeldes nur insoweit brauchbar, wie es gelingt, den Förderstrom durch geeignete bekannte Maßnahmen (z. B. durch

Fliehkräfte oder Leitbleche) auf eine vergleichsweise zur Meßstreckenausdehnung dünne und homogene Schicht zu konzentrieren, so daß der gesamte Massenstrom in unmittelbarer Nähe der Meßelektrode in dichter Packung als Schicht vorbeigeführt wird.

Völlig unübersichtlich und im höchsten Maße kompliziert werden die Zusammenhänge aber dann, wenn die Massestrompartikel nicht, wie bisher angenommen, als Einzelpartikel ohne jeden körperlichen Kontakt mit Nachbarpartikeln, durch den Meßquerschnitt gefördert werden, sondern sich zu größeren und teilweise großen zusammenhängenden Einheiten zusammenklumpen und somit auch in einen engen, elektrisch leitfähigen Kontakt miteinander kommen. Hier sind in der näheren Umgebung dieser klumpenförmigen Gebilde sehr starke Feldlinienverzerrungen zu erwarten, die umso stärker ins Gewicht fallen, je höher die elektrische Leitfähigkeit der Einzelpartikel ist. Insbesondere bei sehr feuchten organischen Materialien, z. B. gehäckseltem Grünfutter, bewirkt eine solche ohmsche Leitfähigkeit, daß die Einzelpartikel nicht nur als ein Dielektrikum mit einer reellen Dielektrizitätskonstante aufzufassen sind, sondern daß die Einzelpartikel in einem elektrischen Wechselfeld auch noch ohmsche Verluste hervorrufen. Damit sind solche Partikel in ihren Materialeigenschaften durch eine komplexe Dielektrizitätskonstante zu beschreiben.

Als Folge davon bildet sich bei der Speisung des Meßkondensators mit einem geeignet geformten Wechselstrom zwischen der Meß- und Gegenelektrode nicht nur ein reiner kapazitiver Blindstrom aus, sondern auch ein reeller, ohmscher Verluststrom. Es ist unmittelbar einleuchtend, daß das Verhältnis und die Größe von diesem Blind- und Wirkstrom in äußerst komplizierter Weise von den Größen der reellen und der komplexen Dielektrizitätskonstanten, des weiteren aber auch noch von der Geometrie, den Klumpeneigenschaft und den Positionen der durch den Meßquerschnitt hindurchtretenden zusammengebackten Materialklumpen abhängig ist.

Insbesondere ist es gewöhnlich unvermeidbar, daß sich der Materialstrom mit einzelnen Partikeln an den seitlichen Wandflächen des Gehäuses sowie an den verlängerten Schutzringelektroden entlang bewegt und mit diesen in engen elektrisch leitenden Kontakt tritt. Dadurch werden in starkem Maße Anteile des Ladestromes der Meßstrecke aus dem Förderstrom senkrecht in die Gehäuse- und Schutzringelektrodenflächen je nach örtlicher Potentialverteilung im Strömungsquerschnitt senkrecht zur Meßrichtung abgeführt, oder es werden auch von diesen Wandungen zusätzliche Stromanteile in das Meßvolumen eingeleitet.

Aus der DE 42 27 922 A1 ist eine Vorrichtung zur Messung eines Massestromes bekannt, der am Ausgang eines Elevators an einer Förderschachtwandung, insbesondere einer Erntemaschine, umgelenkt wird, so daß er ein geschwindigkeitshomogenes, geschichtetes Dielektrikum in einem dort angeordneten Durchsatz-Meßkondensator bildet. Der erste Kondensatorbelag des Durchsatz-Meßkondensators ist massestromseitig, der zweite Kondensatorbelag beabstandet zum Massenstrom angeordnet. Dabei ist der erste Kondensatorbelag mit einer Schutzelektrode eingefäßt, die durch einen Impedanzwandler mit dem eingefäßten Kondensatorbelag auf gleichem Potential gehalten ist. Der zweite Kondensatorbelag ist durch eine dem ersten Kondensatorbelag gegenüberliegende Förderschachtwand und seitliche Förderschachtwandbereiche gebildet. Der

Massestrom wird so durch den Durchsatz-Meßkondensator geleitet, daß er ein geschichtetes Dielektrikum mit einer annähernd homogenen Geschwindigkeitsverteilung bildet und durch einen zweiten Meßkondensator geführt, der stets ganz gefüllt ist. Die beiden Kapazitäten dieser Kondensatoren werden mit der gleichen Meßvorrichtung ermittelt, um ein Kapazitätenverhältnis zu bilden. Die laufende Absolutwertmessung eines Körnerstromes in Erntemaschinen bringt erhebliche Vorteile bei der Nutzung des Meßwertes zur Regelung und Überwachung des Betriebes der Maschine, insbesondere der Vorschubgeschwindigkeit, der Siebantriebe und der Schnithöhe. Sie erlaubt darüber hinaus die Erstellung eines Erntekatasters, das eine Grundlage für eine sich über Jahre erstreckende systematische, den jeweiligen Boden- und Ertragswerten angepaßte Bodenbearbeitung und Düngung ist. In dieser Vorrichtung ist für den ersten Kondensatorbelag des Durchsatz-Meßkondensators zusätzlich zur Schutzelektrode eine weitere Elektrode vorgesehen, die über einen Umschalter entweder mit der Schutzelektrode oder mit dem zweiten Kondensatorbelag elektrisch verbindbar ist. Dadurch kann die Feldverteilung jeweils durch Umschaltung der zweiten Schutzelektrode dem Füllungsgrad des Kondensators angepaßt werden und die elektrische Feldliniendichte zwischen den Feldelektroden fallweise annähernd homogenisiert werden.

Weiterhin ist in der DE 43 18 447 eine eingangs bezeichnete kapazitive Meßvorrichtung mit zwei parallelen Feldelektroden mit zwei Schutzelektrodenbelägen, die die erste Feldelektrode entfernungsmaßig gestaffelt umgeben, beschrieben, von denen die erste über einen Impedanzwandler mit dem Potential der ersten Feldelektrode gespeist wird und die zweite mit einem Zwischenpotential, das zwischen dem der ersten und der zweiten Feldelektrode liegt, über einen weiteren Impedanzwandler gespeist wird. Hierbei ist das Zwischenpotential über eine Kompensationsschaltung so gesteuert, daß eventuell durch einen Feuchtigkeitsbelag von den Kompensationselektroden zur zweiten Feldelektrode auftretende Leckströme abfließen und ein Leckstrom den Meßstrom an der ersten Feldelektrode nicht störend beeinflussen, so daß nicht isolierte Elektroden verwendet werden können, die verschleißfest sind. Die geforderte Homogenität des kapazitiven Meßfeldes ist jedoch nur in einem Teilbereich gegeben, so daß eine Homogenisierung und Schichtung des Meßgutes vorgenommen werden muß.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, die eingangs bezeichnete Vorrichtung so zu verbessern, daß möglichst vollständig eine homogene Feldverteilung zwischen den Feldelektroden unabhängig von der Materialverteilung im Meßraum und von den Blind- und Wirkkomponenten des Materials und von unsystematischen Wandstromflüssen stets ausgebildet ist.

Die Lösung besteht darin, daß die Seitenwand im Bereich des Meßraumes mit weiteren Hilfselektroden annähernd vollständig, streifenförmig parallel zur Meßelektrode geteilt oder zweidimensional rasterförmig geteilt, belegt ist und jede der Hilfselektroden mit ihrer Potentialregelschaltung so beschaltet ist, daß ein Stromfluß in die Hilfselektroden minimiert wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben. Bevorzugte Lösungen sind in den Fig. 1 bis 3 dargestellt.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt einer Meßanordnung erster Art,

Fig. 2 zeigt einen Querschnitt einer Meßanordnung

zweiter Art,

Fig. 3 zeigt einen Querschnitt einer Meßanordnung dritter Art.

In Fig. 1 ist ein Querschnitt eines Massestromkanals dargestellt. Die Seitenwandungen (18) des Strömungs-kanals sind über ihre gesamte Ausdehnung in Meßrich-tung mit streifenförmigen Hilfselektroden (61—6N) be-legt, die aus einem abriebfesten, metallischen Leiter, z. B. Edelstahlblech, bestehen und bevorzugt mit einem elektrisch isolierenden Kleber (2) auf die Seitenwandun-gen (18) aufgeklebt sind. Diese streifenförmigen Elek-troden (61—6N) sind durch dünne Isolationsstrecken, bevorzugt aus dem Klebermaterial (2) bestehend, ge-geneinander elektrisch isoliert und sie verlaufen parallel zur Achse des Strömungskanals und erstrecken sich über eine Länge, die bevorzugt etwas größer als die Ausdehnung der Meßelektrode (3) mit der Schutzzring-elektrode (13) in Richtung der Zentralachse des Strö-mungskanals (1) ist.

Jede dieser Hilfselektroden (61—6N) ist an eine elek-tronische Potentialregelschaltung (17) angeschlossen, deren Aufgabe es ist, das Potential der zugehörigen Hilfselektrode so einzustellen, daß diese per saldo kei-nen Strom aus dem Meßvolumen aufnimmt oder an dieses abgibt. Wählt man die Breite dieser Hilfselektrode (61—6N) sehr klein, d. h. vergrößert man bei vorge-gaben Abmessungen des Strömungskanals die An-zahl (N) der Hilfselektroden, so wird durch diese Maß-nahme erreicht, daß unabhängig von der Form und Aus-bildung des elektrischen Feldes im Meßvolumen als Folge unregelmäßig über den Meßquerschnitt verteilt angeordneter Materialpartikel (7) oder Zusammenklum-pungen (41—45) derselben keinerlei Querströme senk-recht zur Fließrichtung des Materialstroms und senk-recht zur direkten Verbindung zwischen der Meß- und der Gegenelektrode (3, 8) an den Seitenwandungen (18) und den Hilfselektroden (61—6N) ausgetauscht werden. Die direkte Folge ist somit, daß trotz aller denkbaren Feldverzerrungen per saldo nur Stromanteile zwischen der Meß- und der Gegenelektrode (3, 8) fließen können, so daß sich auch bei sehr ungleichmäßiger Partikel- oder Klumpungsverteilung des durchlaufenden Materials ein quasi homogenes elektrisches Feld ergibt.

Erfindungsgemäß kann eine weitere Verbesserung dieser Seitenwand-Potentialsteuerung noch dadurch er-reicht werden, daß jede der zunächst als durchgehend streifenförmig angenommenen Hilfselektroden (61—6N) auch in der Strömungsrichtung noch in M Ein-zelektroden unterteilt wird. Jede dieser M Einzelhilfselektroden wird dann erfindungsgemäß mit einer gleich-artigen elektronischen Potentialregelschaltung (17) aus-gestattet werden. Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß auch bei Feldverteilungen, die infolge inhomogener Materialverteilung im Meßvolumen in der Materialströ-mungsrichtung variabel ist, die angestrebte Feldhomogenisierung auch in jenen Randbereichen in der Rich-tung zwischen der Meß- und der Gegenelektrode optimiert wird. Insgesamt kommt man hier auf der elektro-nischen Seite zu einer matrixförmigen Anordnung von lauter gleichartig aufgebauten Einzel-Potentialregel-schaltungen, mit der Gesamtzahl $n = N \cdot M$, die sich bei einer Nutzung der heute gegebenen mikroelektronischen Herstellungsverfahren und Möglichkeiten pro-blemlos auf sehr kleinem Raum und mit niedrigem Ge-stehungspreis als integrierte Schaltung ausführen läßt.

Der Aufbau der erfindungsgemäßen Potential-Regel-schaltungen (17) erfolgt vorteilhaft nach dem in Fig. 1 wiedergegebenen Schaltungsschema. Die Operations-

verstärker (15) haben eine sehr hohe Spannungs-Leer-laufverstärkung, die vorteilhaft größer als eine Million ist. Der Gegenkoppelwiderstand (R) ist jeweils ein nicht notwendigerweise aussteuerungsunabhängiger ohm-scher Widerstand, der die Gegenkopplung der Regel-schaltung bewirkt. Die Hilfselektroden (61—6N) sind als Wandelektroden angeordnet; ihr Potential wird so von den Potential-Regelschaltungen (17) gesteuert, daß die Ströme (Ia) in bzw. aus diesen Elektroden möglichst klein werden. Auf der rechten Seite der Hilfselektrode (6N) ist beispielhaft für alle Hilfselektroden eine Nach-bildung des Meßgutes (7, 41—45), eines verlustbehafteten Dielektrikums wiedergegeben, wobei dessen Ver-lust-Widerstände (R1, R2) sich individuell am Ort der Hilfselektrode (6N) unter dem Einfluß der momentanen ohmschen Verluste des Meßguts ergibt. Die Teilkapazi-täten (C1, C2) sind von eben diesem Meßgut unter diesen Bedingungen vorgegeben. Diese vier Impedanzen werden alle von der Kondensatorspannung (UC) ver-sorgt. Damit wird das Potential (R1, C1; R2, C2) der Hilfselektroden (6N) jeweils so eindeutig durch den ver-lustbehafteten Spannungsteiler aus diesen vier Impedanzen bestimmt, solange nur der in der Hilfselektrode (6N) fließende Strom (Ia) verschwindend klein gehalten wird. Auch bei verhältnismäßig großem Wandelektro-denpotential, bei sehr großen Leerlaufverstärkungen und einem großen Gegenkopplungswiderstand (R) (z. B. mindestens 1M Ohm) läßt sich jeweils der Strom (Ia) in die Hilfselektrode so klein halten, daß er keinerlei Ein-fluß mehr auf die vom Massestrom (Meßgut) im Meßvolumen vorgegebene Potentialverteilung hat. Auch beim Vorliegen nichtstationärer Verhältnisse, d. h. wenn die Kondensatorspannung (UC) eine sinusförmige oder sä-gezahnförmige Wechselspannung ist, arbeitet die Poten-tial-Regelschaltung einwandfrei, lediglich ist der Wandstrom (Ia) nicht mehr in Phase mit der Kondensatorspannung (UC).

Ein weiterer Vorteil der Schaltung besteht darin, daß die von dem Operationsverstärker (15) aufzubringende Steuerleistung selbst noch bei einer Potentialanhebung von beispielsweise 10 Volt bei einem Verstärkungsfak-tor von einer Million und einem Gegenkoppelwider-stand von 1 MOhm lediglich Werte von 0,1 Mikrowatt annehmen. Das bedeutet, daß es selbst bei der bevor-zugten Verwendung von Hilfselektrodenmatrizen der Leistungsbedarf trotz einer größeren Zahl von Hilfselektroden im Bereich von einigen Milliwatt bleibt und so eine hohe Integrationsdichte für eine mikroelektronische Schaltungsausführung erreichbar ist.

In Fig. 2 ist an einem Querschnitt durch einen Strö-mungskanal gezeigt, in dem sich in zufälliger örtlicher Anordnung mehrere klumpenförmige Zusammenbal-lungen (41—45) von Fördergut durch das Meßvolumen hindurchbewegen, wie sich die erfindungsgemäßen Maßnahmen auf die Feldverteilung auswirken. Die Wandelektroden (61—6N) mit ihren Anschlüssen (9) werden dabei durch die hier nicht im einzelnen wiedergegebenen, zuvor aber beschriebenen elektronischen Potentialregelschaltungen (17) automatisch alle auf ein solches Potential gebracht, daß über diese Hilfselektroden keine seitlichen kapazitiven oder ohmschen Ströme (Ia) abgeleitet werden. Da durch diese Maßnahme auch in der unmittelbaren Umgebung der Meßelektrode (3) keine Verschiebungsströme seitlich abgeleitet werden können (das Potential der Hilfselektroden (61—6N) wird durch ihre zugehörigen Steuerelektroniken praktisch auf das Potential der Meßelektrode (3) nachge-führt, übernehmen diese Hilfselektroden praktisch die

Funktion der bisherigen Schutzringelektrode (13), die in Fig. 1 noch getrennt gezeigt ist. Das hat den Vorteil, daß die Meßelektrode (3) jetzt über die volle Breite des Transportkanalquerschnittes hinüber geführt ist, und somit der volle Meßquerschnitt bis in seinen letzten Winkel von der Materialstrommessung erfaßt wird.

In Fig. 2 ist bei der qualitativen Konstruktion des Feldlinienverlaufs im Meßquerschnitt angenommen, daß die verklumpten Materialteile (41—45) alle eine relative Dielektrizitätskonstante aufweisen, die groß gegenüber 1 ist, so daß in ihrem Inneren eine sehr viel kleinere Feldliniendichte herrscht als im umgebenden Luftraum. Man erkennt, daß es zu erheblichen Feldverzerrungen gegenüber einer streng homogenen Feldverteilung kommt, wenn man diese Störungen durch verklumptes Material in das Meßvolumen bringt. Aber da durch die beschriebene Wandpotentialsteuerung keinerlei Verschiebungsströme in die beiden mit den Hilfselektroden (61—6N) belegten Seitenwände (18) ein- oder austreten, also nichts verlorengeht oder hinzukommt, gelangt der gesamte, von der Meßelektrode (3) ausgehende Verschiebungsstrom in voller Höhe auf der gegenüberliegenden Gegenelektrode (8) an, die aus Vereinfachungsgründen direkt aus dem geerdeten Gehäusewandmaterial des Förderkanals besteht. Es ist aus dieser qualitativen Darstellung auch ohne weiteres direkt sinnfällig, daß jedem Volumenelement des gesamten Meßvolumens auf diese Weise eine näherungsweise gleichgewichtige Bewertung in seiner Rückwirkung auf den insgesamt durch das Meßvolumen hindurchtretenden Verschiebungsstromfluß (IC) gesichert ist. Ganz analoge Verhältnisse ergeben sich auch dann, wenn man die Materialverklumpungen nicht nur als ideales Dielektrikum, sondern mit einer gewissen inneren ohmschen Leitfähigkeit ansetzt, die dazu führt, daß im Inneren dieser Materialverklumpungen (41—45) neben den in Fig. 2 gezeigten Verschiebungsströmen noch ohmsche Verlustströme fließen. Diese sorgen dafür, daß die resultierenden Feldlinien dort gegenüber den rein kapazitiven Verschiebungsströmen im Luftraum mehr oder weniger große Phasenverschiebungen aufweisen. Diese Verhältnisse lassen sich auch durch den Ansatz einer komplexen Dielektrizitätskonstante für das Material berücksichtigen. In jedem Falle sorgen die erwähnten Verlustströme in den Materialklumpen (41—45) dafür, daß die an der Meßelektrode (3) auftretende Meßspannung (UC) gegenüber dem Meßstrom (IC), nämlich dem Speisewechselstrom, eine von diesen Verlusten funktional abhängende Phasenverschiebung aufweist.

Durch eine auf die Phase vom Meßstrom (IC) bezogene, phasenselektive Signalverarbeitung der Meßspannung (UM), die am Ausgang des Meßimpedanzwandlers (16) auftritt und weitgehend der Kondensatorspannung (UC) entspricht, ist es daher möglich, die Blind- und Wirkanteile dieser Meßspannung (UM) in ihre anteiligen Komponenten zu zerlegen und dadurch einen Rückschluß auf die Materialzusammensetzung, z. B. aus einer Trockenmasse mit reiner dielektrischer Leitung und einem Feuchteanteil mit primär ohmscher Leitung zu gewinnen.

Der Operationsverstärker (16) dient der Impedanzwandlung und ist, wie in Fig. 1 gezeigt, als Spannungsfolger geschaltet. Infolge dessen ist bis auf die sehr kleine, hochgradig zu vernachlässigende Eingangsspannung des Verstärkers (16) die Signalspannung (UM) stets exakt gleich der an der Meßelektrode (3) abfallenden Kondensatorspannung (UC). Um den Einfluß des Verbindungskabels zwischen der Meßelektrode (3) und dem

positiven Eingang des Verstärkers (16) unempfindlich gegenüber kapazitiven Einwirkungen von in der Umgebung angeordneten leitfähigen Gegenständen (Handempfindlichkeit) zu machen, wird in bekannter Weise diese Verbindung mit einem Schirm (20) umgeben, der mit dem negativen Eingang des Verstärkers (16) verbunden ist und dafür sorgt, daß zwischen dem Schirm (20) und der Meßleitung (10) stets nur der schon beschriebene vernachlässigbare Spannungsabfall am Eingang des Verstärkers (16) auftritt. Im Bedarfsfalle kann es auch vorteilhaft sein, die der Meßelektrode (3) benachbarten Hilfselektroden (6N) statt an eine eigene Potentialsteuerungselektronik (17) direkt an den negativen Eingang des Meßverstärkers (16) mit anzuschließen; diese Hilfselektroden (6N) übernehmen dann in gleicher Weise die Funktion der in Fig. 1 noch in der Ebene der Meßelektrode (3) angeordneten Schutzringelektrode (13), ohne dabei noch das von der Meßelektrode (3) erfaßte Meßvolumen einzuschränken.

Die Funktionsfähigkeit der Wandpotentialsteuerung durch fein unterteilte Hilfselektroden (61—6N) funktioniert aber nur dann einwandfrei, wenn zwischen zwei benachbarten Hilfselektroden jeweils eine einwandfreie elektrische Isolation besteht. Ist dies nicht der Fall, so wird zwischen den beiden benachbarten Elektroden ein Ausgleichsstrom fließen, der der Potentialdifferenz zwischen den beiden Hilfselektroden proportional, dem dazwischenliegenden Isolationswiderstand aber umgekehrt proportional ist. Bei dem Auftreten derartiger Isolationsdefektströme wird aber die angegebene Potential-Regelschaltung (17) außerstande gesetzt, ihre Funktion ordnungsgemäß zu erfüllen.

Derartige Isolationsdefekte lassen sich im praktischen Betrieb an vielen Stellen und Einsatzorten jedoch nicht mit Sicherheit verhindern. Einmal ist es möglich, daß sich Feuchtigkeit in Form eines Filmes auf den gesamten Wandungen des Förderkanals niederschlägt und somit auch auf den Seitenwandungen (18) mit den Hilfselektroden (61—6N). Derartige Feuchtigkeitsniederschläge weisen in der Regel einen weit vom neutralen abweichenden PA-Wert auf und sind somit in mehr oder weniger starkem Maße elektrolytisch leitfähig. Unter Umständen noch wesentlich stärkere Isolationsdefekte könnten entstehen, wenn sich aus dem Fördergut kleine Teilmengen abspalten und sich auf den Wandungen niederschlagen und dort festbacken. Die Wirkung auch dieser Art von Bedeckungsschichten über den Hilfselektroden wäre mit dem feuchter Niederschläge direkt vergleichbar, da im allgemeinen davon auszugehen ist, daß die geförderten Materialien ebenfalls eine elektrische Leitfähigkeit besitzen.

Um derartige Störungen und Anfälligkeit zu beseitigen, wird gemäß Fig. 3 erfahrungsgemäß jede Hilfselektrode (61, 62) mit einer von ihr isolierten Schutzelektrode (11A, 11B) ringförmig eingeschlossen. Jede dieser Schutzelektroden (11A, 11B) wird mittels eines als Schutzzpotentialfolger (12A, 12B) geschalteten Operationsverstärkers ständig praktisch verzögerungsfrei dem Potential nachgeführt, auf das die eingeschlossene Hilfselektrode (61, 62) von ihrer zugehörigen Potential-Regelschaltung (17) gesteuert wird. Wegen der extrem kleinen Potentialdifferenz zwischen der eingeschlossenen Hilfselektrode und der sie umgebenden Schutzelektrode, die in der Größenordnung von $1 - 2 \mu\text{V}$ liegt, kann auch bei einer relativ niederohmigen Überbrückung des Isolationsspaltes zwischen der Schutzelektrode (11A) und der Hilfselektrode (61) durch einen leitfähigen Belag kein Ausgleichsstrom fließen, so daß der Belag nicht

weiter stört.

Wie in Fig. 3 aber erkennbar wird, liegen bei der erfundungsgemäßen Anordnung von Hilfs- und Schutzelektroden jeweils zwei auf unterschiedlichem Potential gehaltene Schutzelektroden (11A) und (11B) lediglich durch einen schmalen isolierenden Trennsteg (5) voneinander getrennt nebeneinander. Wird hier durch einen Feuchte- oder Materialniederschlag eine elektrisch leitfähige Brücke erzeugt, so fließt entsprechend der Potentialdifferenz zwischen den benachbarten Schutzelektroden (11A) und (11B) und der Größe des störenden ohmschen Leitwertes der überbrückenden Belagstrecke ein Ausgleichsstrom. Dieser Ausgleichsstrom muß anteilig von den zugehörigen Schutzelektroden (12A, 12B) aufgebracht werden; er hat praktisch keinen Einfluß auf die Feldverteilung bzw. den geometrischen Verlauf der Feldlinien der Verschiebungsströme im Meßvolumen.

Mit Hilfe dieser erfundungsgemäßen Maßnahmen ist es daher also auch unter allen solchen beschriebenen widrigen Bedingungen möglich, die angestrebte Feldhomogenisierung im Meßvolumen zu erreichen, selbst dann, wenn aufgrund sehr ungünstiger Arbeitsbedingungen sich Feuchte- oder Materialniederschläge auf den potentialgesteuerten Seitenwandflächen (18) bilden.

Somit erfolgt erfundungsgemäß die Steuerung des Verlaufs des elektrostatischen und des elektrischen Strömungsfeldes im Meßvolumen eines scheinbar weitgehend ebenen Plattenkondensators, bestehend aus einer isoliert installierten Meßelektrode (3) und einer dieser diametral gegenüberliegenden, etwa gleichgroßen Gegenelektrode (8), die geerdet und Teil eines das Meßvolumen insgesamt umschließenden metallischen Gehäuses sein kann, in der Weise, daß alle von der Meßelektrode (3) ausgehenden Verschiebungsströme und Leitungsströme unabhängig von Feldverzerrungen durch sich im Meßvolumen aufhaltendes Material (7, 14) vollständig und ausschließlich in die Gegenelektrode (8) einmünden und nicht teilweise in die Seitenwandungen (18) des umgebenden Gehäuses abfließen oder von dort zusätzlich den Komponenten zufließen, in dem die Seitenwandungen (18) mit einer Vielzahl N quer zu der Feldrichtung geteilten Hilfslektroden (61—6N; 61A—6NA) belegt sind, die untereinander und gegen die Seitenwand (18) elektrisch isoliert sind und jeweils mit einer Potential-Regelschaltung so beschaltet sind, daß ein Stromfluß in die Hilfslektroden minimiert wird.

In einer bevorzugten Ausführung sind jede der Hilfslektroden (61—6N) in Richtung der Achse des das Meßvolumen umgebenden Gehäuses bandförmig mit einer Länge ausgebildet, die mindestens gleich groß oder geringfügig größer ist als die Länge, die die Meßelektrode (3) zusammen mit einer dieser ggf. umgebenden Schutzringelektrode (13) in dieser Richtung aufweist.

In einer weiteren Ausführung sind diese bandförmigen Hilfslektroden jede noch einmal in insgesamt M Teilhilfslektroden unterteilt, die voneinander elektrisch isoliert sind. Auf diese Weise gibt es auf jeder Wandfläche (18) eine matrixförmige Anordnung von insgesamt N · M Teilhilfslektroden. Jede dieser Teilhilfslektroden hat eine eigene Elektrodenzuführung. An jede Elektrodenzuführung ist eine elektronische Regelschaltung (17) angeschlossen, die das Potential der zugehörigen Hilfslektrode genau auf das Potential einregelt, die das Feld im Meßvolumen bei gleicher Materialbeschickung einnehmen würde, wenn die Seitenwände (18) aus einem ideal-nichtleitenden, aber sich auch nicht statisch aufladenden Material beständen. Dieser Ideal-

zustand ist dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Meßvolumen keinerlei Verschiebungsstromkomponenten in die Seitenwandungen (18) ein- oder austreten. Genau dieser Zustand wird aber erfundungsgemäß durch die an die Hilfslektroden jeweils angeschlossenen elektronischen Potentialregelschaltungen erzeugt, die so ausgelegt sind, daß zwischen der jeweils angeschlossenen Hilfslektrode und dem Meßvolumen keinerlei Stromtransport stattfindet.

- 10 In einer weiteren vorteilhaften Ausführung wird der unter ungünstigen Einsatzbedingungen durch Ablagerungen von Material- oder Feuchtigkeitsschichten, die dielektrisch oder ohmisch leitfähig sind, auf die Seitenwandungen mit den Hilfslektroden auftretende Störungseinfluß verhindert, indem jede einzelne Hilfslektrode von einer eigenen Schutzelektrode (11A, 11B) umgeben ist und deren Potential mit Hilfe eines als Potentialfolger (12A, 12B) geschalteten Operationsverstärkers verzögerungsfrei dem Potential der zugehörigen Hilfslektrode nachgeführt wird. Diese Potentialfolger (12A, 12B) bringen die ohmschen oder dielektrischen Ausgleichsströme auf, die aufgrund der Potentialdifferenz zwischen zwei benachbarten Schutzelektroden (11A, 11B) fließen.
- 15 20 25 30 35 40 45
- 20 25 30 35 40 45
- 25 30 35 40 45
- 30 35 40 45
- 35 40 45
- 40 45
- 45

Die ansonsten aufwendige, mechanische Fertigung der Hilfslektroden (61—6N) und ggf. auch der zugehörigen Schutzelektroden (11A, 11B) wird vorteilhaft in einem fotolithografischen Ätzverfahren durchgeführt, bei dem als Ausgangsmaterial ein hochabriebfestes Isolationsmaterial als Trägermaterial benutzt wird, z. B. Glasfaserpolyester, das mit einer hinreichend dicken Metallfolie aus ebenfalls hochabriebfestem Metall, z. B. Edelstahl, beschichtet ist. Um nach dem Ausätzen der Hilfs- und Schutzelektroden eine optimal glatte, dem Meßvolumen zugewandte Oberfläche zu erhalten, wird vorzugsweise bei noch nicht vollständig ausgehärtetem Trägermaterial abschließend unter Wärmeeinwirkung die gesamte Elektrodenanordnung unter Druck in das Trägermaterial gepreßt, soweit, bis die Lücken zwischen den Elektroden vollständig mit dem isolierenden Trägermaterial ausgefüllt sind und bündige Isolationssteg (5) bilden.

Vorteilhaft werden durch den Einsatz einer — bezogen auf die Phase (P) des Meßstromes (IC) phasenselektiv die Meßspannung (UC) verarbeitende Signalauswerteschaltung (A) Fig. 1 — zwischen dem kapazitiven Verschiebungsstrom (IV) und dem ohmschen Verluststrom (IO) durch das Meßvolumen über zweidimensionale Kennlinienfelder die Größe der kapazitiven und der ohmschen Anteile des Meßstromes durch das Meßvolumen getrennt ermittelt. Über eine Korrelation (K) wird daraus der Trockenanteil (Q) und der Wassergehalt (F) des Mediums im Meßvolumen ermittelt, oder es werden Verhältnisse anderer Mischungskomponenten einer Zweistoffmischung mit unterschiedlichen elektrischen Komponenteneigenschaften und der Gesamtstoffgehalt so bestimmt.

Der entscheidende Vorteil zu den bekannten Vorrichtungen ist die völlige Unabhängigkeit des Meßergebnisses von der Materialanordnung im Meßraum. Die durch die Elimination der Feuchteinflüsse auf die Wandzone neu ermöglichte Zweiphasenauswertung erübrigt dar-

über hinaus die Verwendung eines Vergleichsmeßkondensators zur getrennten Feuchtigkeitsgehaltsbestimmung, der bei herkömmlichen Vorrichtungen stets vorhanden war.

Patentansprüche

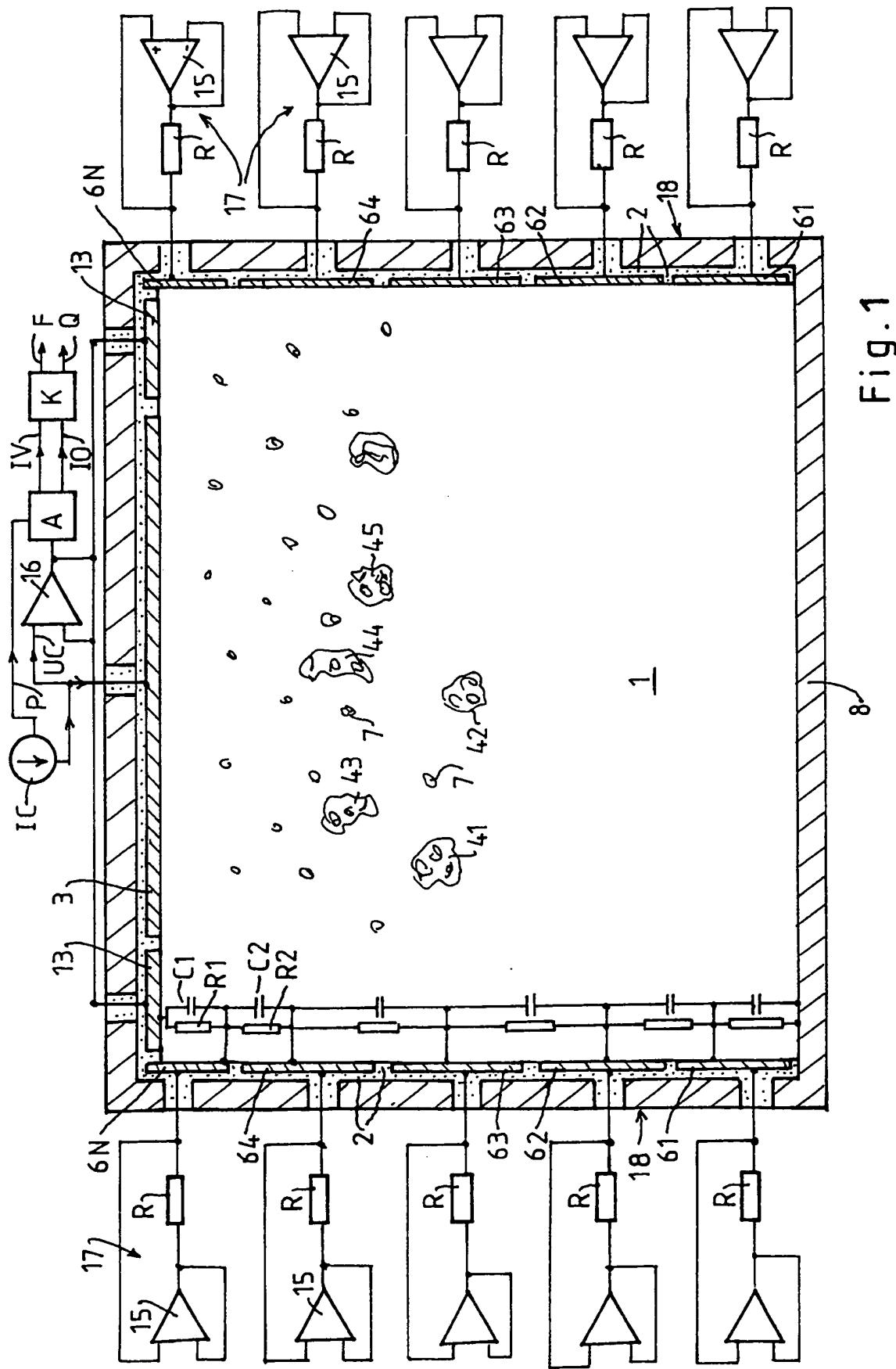
5

1. Kapazitive Meßvorrichtung mit einem Meßkondensator mit einer Meßelektrode (3), die zu einer Gegenelektrode (8) beabstandet angeordnet ist, und wobei zwischen den genannten Elektroden (3, 8) zum Messen dielektrisches Meßgut angeordnet oder laufend hindurchgefördert wird, und der Meßelektrode (3) ein zeitlich veränderlicher Meßstrom (IC) zugeführt wird und die kapazitätsabhängige Kondensatorspannung (UC) gemessen und ausgewertet wird, wobei seitlich eines zwischen den genannten Elektroden (3, 8) gegebenen Meßraumes, der ggf. ein Meßgutströmungskanal (1) ist, mindestens eine Seitenwand (18) den Meßraum begrenzend angeordnet ist und die Meßelektrode (3) von mehreren von ihr gestaffelt-beabstandeten und zumindest teilweise die Seitenwand (18) bedekkenden Schutzringen/oder Hilfselektroden (13, 6N, 6NA) umgeben ist, die jeweils über eine Potentialregelschaltung (17) laufend so dem Potential der Meßelektrode (3) nachgeführt sind, daß dabei Leckströme zu diesen Elektroden (13, 6N, 6NA) weitgehend ausgeglichen sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwand (18) im Bereich des Meßraumes mit weiteren Hilfselektroden (61-6N; 61A-6NA) annähernd vollständig, steifenförmig parallel zur Meßelektrode (3) geteilt oder zweidimensional rasterförmig geteilt, belegt ist und jede der Hilfselektroden mit ihrer Potentialregelschaltung (17) so beschaltet ist, daß ein Stromfluß in die Hilfselektroden (61-6N; 61A-6NA) minimiert wird.
2. Kapazitive Meßvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Potentialregelschaltungen (17) aus einem Potentialregelverstärker (15) besteht, dessen Ausgang über einen hochohmigen Gegenkoppelwiderstand (R) an die Hilfselektrode (6N) angeschlossen ist und dessen beide Eingänge jeweils an den einen bzw. anderen der Anschlüsse des Gegenkoppelwiderstandes (R) geführt sind.
3. Kapazitive Meßvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Potentialregelverstärker (15) mindestens einen Verstärkungsgrad von einer Million hat und der Gegenkoppelwiderstand (R) mindestens 1 MΩ aufweist.
4. Kapazitive Meßvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Hilfselektroden (61-6N; 61A-6NA) von einer eigenen schmalen Schutzelektrode (11A, 11B) umgeben ist, die über einen Schutzpotentialfolger (12A, 12B) mit dem Potential der zugehörigen Hilfselektrode (61-6N; 61A-6NA) relativ niederohmig gespeist wird.
5. Kapazitive Meßvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Schutzpotentialfolger (12A, 12B) ein gegengekoppelter Impedanzwandler hohen Verstärkungsgrade ist, dessen Eingang mit der zugehörigen Hilfselektrode (61-6N; 61A-6NA) verbunden ist.
6. Kapazitive Meßvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

daß mehrere der Potentialregelschaltungen (17) und ggf. der jeweils zugehörigen Schutzpotentialfolger (12A, 12B) in einer monolithischen Schaltung integriert sind.

7. Kapazitive Meßvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß aus der monolithischen Schaltung nur die, Ausgänge der Potentialregelschaltungen (17) und ggf. der Schutzpotentialfolger (12A, 12B) herausgeführt sind.
8. Kapazitive Meßvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schutzringelektrode (13) die Meßelektrode (3) umgebend in einer Ebene mit dieser angeordnet ist.
9. Kapazitive Meßvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ggf. die Schutzringelektrode (13) und die Hilfselektroden (61-6N; 61A-6NA) und ggf. die Schutzelektroden (12A, 12B) in einem abriebfesten hochisolierenden Kunststoff oder Kleber (2) zum Meßraum unter Ausbildung von Isolationsstegen (5) bündig abschließend eingelagert sind und von den Hilfselektroden (61-6NA) und ggf. den Schutzelektroden (12A, 12B) Anschlüsse (9) durch eine mit der Gegenelektrode (8) verbundene Abschirmung hindurchgeführt und weiter an die Potentialregelschaltungen (17) und bzw. ggf. die Schutzpotentialfolger (12A, 12B) geführt sind.
10. Kapazitive Meßvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Hilfselektroden (61-6N; 61A-6NA) und ggf. die Schutzelektroden (12A, 12B) aus Edelstahlblech bestehen.
11. Kapazitive Meßvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Kunststoff oder Kleber (2) und die Isolationssteg (5) aus Glasfaserpolyester bestehen.
12. Kapazitive Meßvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kondensatorspannung (UC) in einer Auswerteeinrichtung (A) bezüglich des zeitlich veränderlichen Meßstromes (IC) phasenmäßig ausgewertet wird und so die Größen des Verschiebestromes (IV) und des ohmschen Verluststromes (IO) bestimmt werden, diese so gewonnenen Größen (IV, IO) in einem Korrelator (K) bekannten Materialeigenschaften (F) und der Materialmengen (Q) zugeordnet werden.
13. Kapazitive Meßvorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die im Korrelator (K) bestimmte Materialeigenschaft (F) der Feuchtigkeitsgehalt des Materials, insbesondere von Erntegut, ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen



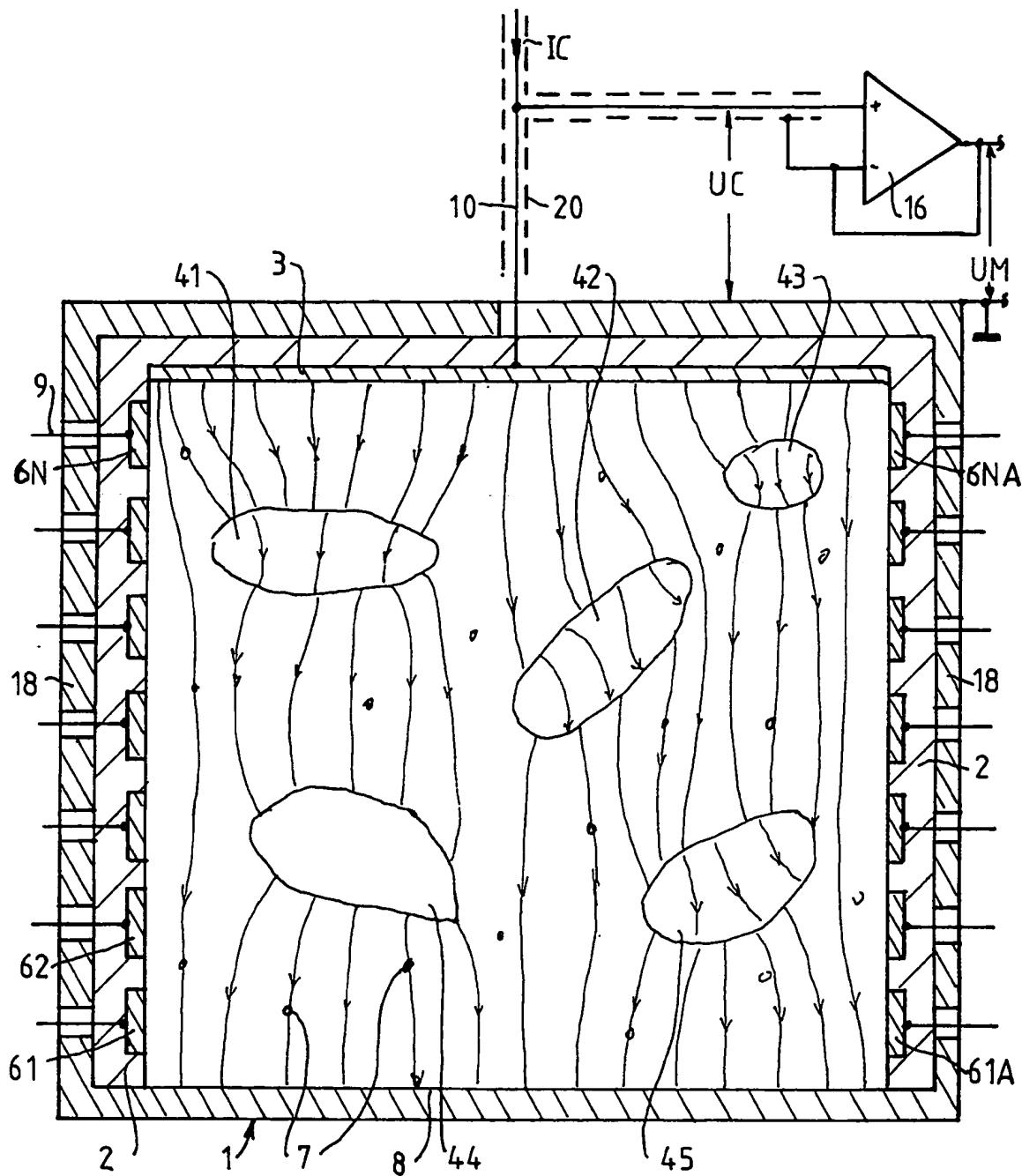


Fig. 2

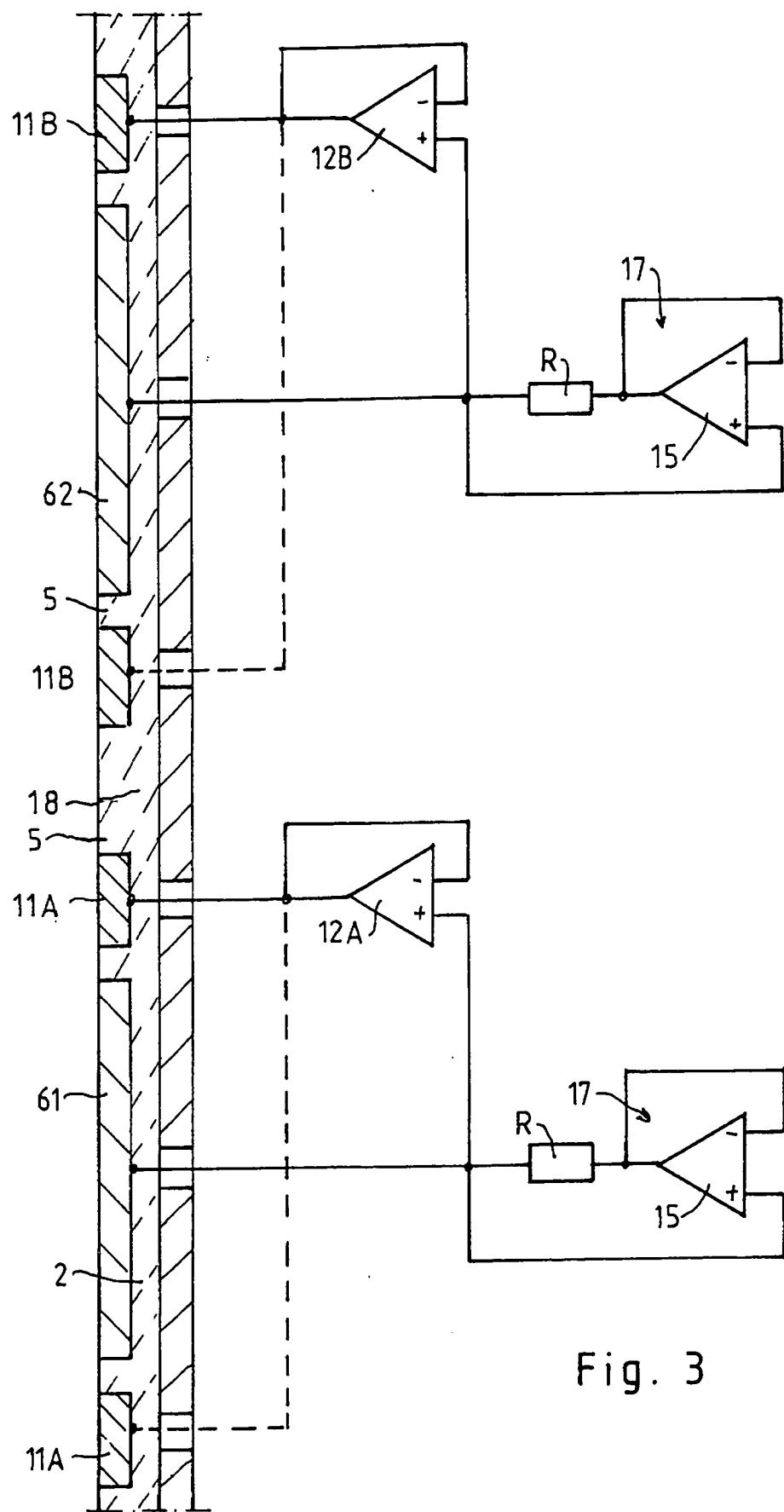


Fig. 3